



Materialdesign: Auf herkömmliche Weise hergestellter Damaszener Stahl, wie er hier zu sehen ist, wird wegen seiner typischen Musterung heute meistens zur Zierde verwendet. Bei der Herstellung eines solchen Werkstoffs im 3D-Drucker geht es dagegen darum, Materialien, die sich mit dieser Technik verarbeiten lassen, mit vielfältigeren Eigenschaften auszustatten.

# LEGENDE AUS DEM 3D-DRUCKER

81

*TEXT: KARL HÜBNER*

Im Altertum war er das Material der Wahl für Schwertklingen. Jetzt hat ein Team des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung in Düsseldorf und des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik in Aachen eine Technik entwickelt, mit welcher sich eine Art Damaszener Stahl im 3D-Drucker fertigen lässt. Solche Verbundwerkstoffe könnten für Bauteile in der Luft- und Raumfahrt oder für Werkzeuge interessant sein.



Materialschmiede im Licht: Die Energie des Lasers lässt sich beim 3D-Druck von Metallen nicht nur nutzen, um pulverförmige Ausgangsstoffe zu schmelzen und zu komplexen Bauteilen zu verarbeiten, sondern auch, um Umwandlungen der Metallstruktur zu bewirken.

Aus der Not geboren und zur Legende geworden: Schmiede des Altertums konnten die Eigenschaften von Eisenlegierungen nur über deren Kohlenstoffgehalt beeinflussen. Dadurch erhielten sie entweder einen zähen, aber weichen oder einen harten, jedoch spröden Stahl. Insbesondere für Schwerter war aber ein zähes und hartes Material gefragt, damit die Kämpfer sich nicht aus der Schlacht zurückziehen mussten, entweder weil ihnen die Schwertklinge gebrochen war oder um diese wieder gerade zu biegen.

Schon keltische Schmiede kombinierten daher verschiedene Eisenlegierungen – anfangs vielleicht nur, um das wertvolle Eisen wiederzuverwerten – und erhielten so den Stoff, der später als Damaszener Stahl oder Damast bekannt wurde. Den Namen verdankt der Verbundwerkstoff orientalischer Herkunft dem Handelsplatz, über den er nach Europa kam. Doch während indischer und arabischer Damast durch einen ausgeklügelten Verhüttungsprozess entstanden, entwickelten europäische Schmiede die Kunst, zwei Le-

gierungen zu vielen dünnen Schichten zu falten. Dieser schichtartige Aufbau von Damaszener Stahl ist dabei in der Regel auch optisch an einem charakteristischen Streifenmuster zu erkennen.

Zwar gibt es heute Eisenlegierungen, die zugleich hart und zäh sind, sie lassen sich aber häufig nicht gut mit 3D-Druckern, dem Mittel der Wahl für viele komplexe oder individuell gestaltete Bauteile, verarbeiten. Aus diesem Grund haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des

---

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Ein Team des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung und des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik entwickelt Legierungen für den 3D-Druck.

Kürzlich präsentierten die Forschenden eine Technik, mit der sich direkt beim 3D-Druck aus einem einzigen Ausgangsmaterial eine Art Damaszener Stahl erzeugen lässt, der aus abwechselnd harten und zähen Schichten besteht.

Durch die Veränderung verschiedener Parameter wie etwa der Pausenzeiten, der Laserenergie oder der Geschwindigkeit beim 3D-Metalldruck lassen sich neben der Härte möglicherweise auch andere Eigenschaften lokal einstellen.

Max-Planck-Instituts für Eisenforschung und des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik eine Technik entwickelt, mit der sich direkt beim 3D-Druck aus einem einzigen Ausgangsmaterial ein Stahl erzeugen lässt, der abwechselnd aus harten und duktilen, das heißt zähen Schichten aufgebaut ist – eine Art Damaszener Stahl also. „Damit können wir schon während des 3D-Drucks gezielt die Mikrostruktur der einzelnen Schichten verändern, sodass das finale Bauteil die gewünschten Eigenschaften erhält –

und dies ganz ohne eine nachträgliche Wärmebehandlung des Stahls“, sagt Philipp Kürnsteiner, Postdoktorand am Max-Planck-Institut für Eisenforschung.

3D-Drucker für die additive Fertigung, wie die Technik im Fachjargon heißt, haben innerhalb weniger Jahre Einzug in viele industrielle Bereiche gehalten. Neben Kunststoffteilen lassen sich damit längst auch Metallgegenstände herstellen. Dabei wird die jeweilige Legierung in fein pulverisierter Form zugeführt, von einem

Laserstrahl geschmolzen und dann Schicht für Schicht auf dem herzustellenden Werkstück aufgetragen. Seit einigen Jahren entstehen unter anderem Einspritzdüsen für Flugzeugtriebwerke mit der Methode der additiven Fertigung, die auch Laser-auftragsschweißen heißt.

Der Laserstrahl ermöglicht es aber nicht nur, das jeweilige Material zu schmelzen. Mit ihm lässt sich, ganz nebenbei, auch die oberste Schicht des bereits wieder erstarrten Metalls erwärmen. Genau dies nutzte das Team um die Düsseldorfer Max-Planck-Forschenden, um in einzelnen Metallschichten gezielt die Kristallstruktur des Stahls zu verändern – und so die mechanischen Eigenschaften zu beeinflussen, ohne die chemische Zusammensetzung zu verändern. **83**

Dafür entwickelten sie eigens eine Legierung, die aus Eisen, Nickel und Titan besteht. Zunächst ist diese Legierung relativ weich. „Unter bestimmten Voraussetzungen bilden sich jedoch kleine Nickel-Titan-Mikrostrukturen, welche dann für eine besondere Härte sorgen“, erklärt Philipp Kürnsteiner. Diese Ausscheidungen verhindern, dass es zu den charakteristischen Verschiebungen innerhalb des Kristallgitters kommt, wenn das Material mechanisch belastet wird und sich plastisch verformt.“

→



Druckfrisches Metall: Philipp Kürsteiner nimmt die würfelförmige Probe eines Stahls in Augenschein, der aus abwechselnd zähen und harten Schichten besteht. Den Werkstoff hat der Forscher über eine ausgeklügelte Steuerung des 3D-Drucks erzeugt.

FOTO: FRANK VINKEN / DWB

84

Um die Nickel-Titan-Strukturen erzeugen zu können, unterbrachen die Forscher den Druckprozess nach jeder neu aufgetragenen Schicht für eine bestimmte Zeit. Währenddessen kühlte sich das Metall auf unter

195 Grad Celsius ab. „Unterhalb dieser Temperatur setzt im Stahl eine Umwandlung der Kristallstruktur ein“, erklärt Eric Jäggle, Leiter der Gruppe „Legierungen für die additive Fertigung“ am Max-Planck-In-

stitut für Eisenforschung und seit Januar 2020 auch Professor an der Universität der Bundeswehr München. „Es entsteht die sogenannte Martensit-Phase, und nur in dieser können die Nickel-Titan-Mikro-

strukturen entstehen.“ Damit sich die Ausscheidungen auch wirklich bilden, ist aber eine erneute Erwärmung notwendig. Dafür nutzen die Forscher die Laserenergie, mit der die nächste Schicht gedruckt wird.

„Intrinsische Wärmebehandlung“ nennen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler diesen zusätzlichen Effekt durch den Laserstrahl des 3D-Druckers. Lagen, die ohne eine Pause direkt mit der nächsten Schicht überzogen wurden, bleiben hingegen weicher, weil sie zu diesem Zeitpunkt noch nicht als Martensit vorliegen. Von den mechanischen Eigenschaften des so produzierten Materials ist Philipp Kürnsteiner beeindruckt: „Die Versuche haben eine hervorragende Kombination von Festigkeit und Duktilität bestätigt.“

Um die Mikrostrukturen während des 3D-Druckens zu beeinflussen, eignen sich verschiedene Stellschrauben des Prozesses. Zusätzlich zur oder statt der Pausenzeit, die das Team in der aktuellen Studie variiert hat, lassen sich die Bildung des Martensits und die anschließende Härtung durch die Ausscheidungen auch steuern, indem man die Laserenergie, den Laserfokus oder die Druckgeschwindigkeit variiert oder externe Heiz- und Kühltechniken einsetzt, erklärt Eric Jäggle.

In ihren Experimenten stellen die Forscher würfel- oder quaderförmige Stahlstücke mit Seitenlängen von wenigen Zentimetern her. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse lassen sich dann auch auf Objekte mit komplexeren Geometrien übertragen, für die der computergesteuerte 3D-Druck interessant ist. Zudem ist der Damaszener-artige Stahl mit den periodisch wechselnden Schichten nur ein Beispiel für die Möglichkeit, die Mikrostruktur einer Legierung bereits während des Herstellungsprozesses lokal zu beeinflussen. Zum Beispiel sei es genauso gut möglich, Werkzeugbauteile mit einem durchgehend wei-

chen Kern zu erschaffen, die dann von einer harten, abriebfesten äußeren Schicht umgeben sind, erklärt Eric Jäggle: „Dank unseres Konzepts der lokalen Kontrolle ließe sich das in einem einzigen Fertigungsschritt realisieren – ganz ohne die bisher für eine Oberflächenhärtung nötigen weiteren Verfahrensschritte.“ Denkbar, so die Forscher, sei es eventuell auch, mit der Technik nicht nur die Härte, sondern auch weitere Eigenschaften wie beispielsweise Korrosionsbeständigkeit lokal gezielt einzustellen.

Philipp Kürnsteiner weist schließlich noch auf einen Paradigmenwechsel hin, der mit dem neuen Ansatz im Design von Legierungen verbunden ist: „Bisher ist es üblich, im 3D-Druck konventionelle Legierungen zu verwenden. Doch viele bekannte Stähle sind für die additive Fertigung nicht optimal geeignet. Unser Ansatz ist es nun, Legierungen so zu entwickeln, dass sich mit ihnen das volle Potenzial des 3D-Drucks ausschöpfen lässt.“

## GLOSSAR

### 3D-DRUCK

Diese auch additive Fertigung genannte Technik ermöglicht es, kompliziert geformte oder individuell gestaltete Bauteile schichtweise aufzubauen. Ursprünglich wurde das Verfahren für die Verarbeitung von Kunststoffen entwickelt, es lässt sich inzwischen aber auch für Metalle und andere Werkstoffe verwenden.

### VERBUNDWERKSTOFF

Er kombiniert Materialien verschiedener Eigenschaften. Ein typisches Beispiel: Verpackungen aus kunststoffbeschichtetem Karton. Damaszener Stahl besteht aus unterschiedlich harten Eisenlegierungen und ist aus diesem Grund gleichzeitig hart und zäh.

Für das Legierungsdesign bei der additiven Fertigung bereiten die Max-Planck-Forschenden zunächst ein Pulverbett vor, in dem ein Laser anschließend direkt bei der Herstellung von Bauteilen schichtweise den gewünschten Werkstoff erzeugt.

